

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Bakalářský studijní program: strojírenská technologie

Zaměření: obrábění a montáž

Návrh přípravku pro zkoušení šroubových spojů krční páteře

The proposal of product for testing srewed connections of cervical spine

KOM - 1162

Martin Procházka

Vedoucí práce: Doc. Ing. Karel Dušák, CSc

Konzultant: Ing. Lukáš Čapek, Ph.D.

Katedra Mechaniky pružnosti a pevnosti

Počet stran: 33

Počet příloh a tabulek: 10

Počet obrázků: 16

Počet výkresů: 8

V Liberci 3.1.2012

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval Doc. Ing. Karlu Dušákovi, CSc. za poskytnuté rady a literaturu potřebnou k sepsání této bakalářské práce. Dále velmi děkuji Ing. Lukáši Čapkovi, Ph.D. nejen za jeho ochotu a pomoc s řešením problémů vzniklých při tvorbě prototypu přípravku, ale také za odborné rady v oblasti biomechaniky krční páteře.

Dále bych chtěl poděkovat Katedře mechaniky pružnosti a pevnosti, která mně poskytla přístup do svých laboratoří.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině a blízkým osobám, kteří mě podporovali finančně i psychicky.

„Abys sklídl bílou rýži, musíš kráčet černým blátem“

(Čínské přísloví)

Anotace

Návrh přípravku pro zkoušení šroubových spojů krční páteře

Cílem bakalářské práce je navrhnout alternativní přípravek pro uchycení 2. krčního obratle během zkoušení mechanického spojení v trhačím stroji. V současné době se využívá uchycení 2. krčního obratle za pomoci zalévání do dentakrylu, což je z hlediska časového značně nevýhodné. Proto je mým cílem zkonstruovat nový přípravek, který by zajistil snížení času na uchycení 2. krčního obratle a ekonomické úspory během výroby přípravku.

Klíčová slova:

přípravek, 2. krční obratel, zub čepovce, dentakryl, mechanický spoj, trhačí stroj

Annotation

The proposal of product for testing srewed connections of cervical spine

The Bachelor thesis is trying to propose an alternative preparation for attaching the second cervical vertebrae during testing of mechanical connection in the tensile machine. Nowadays the embedding to dentakryl is used for attachment of cervical vertebrae. It is very disadvantageous in terms of time. So that I was trying to construct a new product that would provide a reduction of time to mount the second cervical vertebra and economic savings during production of.

Keywords:

medicine, 2nd cervical vertebrae, a tooth of axis, dentakryl, mechanical connection, the tensile machine

OBSAH

SEZNAM SYMBOLŮ	7
ÚVOD.....	8
1 ANATOMIE PÁTEŘE.....	10
1.1 Krční páteř.....	12
1.2 Krční obratel C1 – Atlas (Nosič)	12
1.3 Krční obratel C2 - Axis (Čepovec)	13
1.4 Způsoby zlomení čepovce.....	14
1.5 Způsoby léčení čepovce	15
1.5.1 Metoda zadního přístupu	15
1.5.2 Metoda předního přístupu	16
1.6 Šroubová spojení.....	17
2 PROVÁDĚNÍ ZKOUŠEK	19
2.1 Laboratorní simulace.....	19
2.2 Trhací stroj TIRAtest 2810	19
2.3 Účel přípravku.....	20
2.4 Způsob uložení krčního obratle zalitím do dentakrylu	21
3 IDEOVÝ NÁVRH UPÍNAČE.....	24
3.1 Přípravek na principu podpěr	24
3.2 Upnutí krčního obratle za pomoci zubu čepovce	25
4 KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU.....	27
4.1 Kotvící deska.....	27
4.2 Upínací deska	28
4.3 Podložky.....	28
4.4 Upínací mechanismus	28
4.4.1 Upínací čep	29
4.4.2 Pryžová výplň	29
4.4.3 Výstředníková páka	29
4.4.4 Spojovací prvek	29
ZÁVĚR	30
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	32
PŘÍLOHY	34

SEZNAM SYMBOLŮ

C1	-	cervicales (krční obratel) - atlas
C2	-	cervicales (krční obratel) - čepovec
F	-	síla razníku
F _U	-	upínací síla
h	-	zdvih výstředníku
mm	-	milimetr
x	-	vzdálenost
Ø d	-	průměr díry

ÚVOD

S vývojem lidské společnosti rostou nároky spojené se společenským postavením v životě každého z nás. Tím pádem musíme věnovat větší úsilí k dosažení vytyčených cílů. S tímto faktem je spojeno i vynaložení větší fyzické a psychické zátěže, která v konečné fázi může způsobit zhoršení našeho fyzického stavu. Například při příliš velké psychické zátěži, která je spojena mnohdy s nedostatkem spánku nebo stresovou činností, může dojít k podcenění vzniklé situace nebo až k agresivním sklonům v našem chování. Ukázkovým příkladem se v poslední době stala jízda v automobilu. Kdy s vidinou dosažení lepšího postavení ve společnosti dochází k častým dopravním nehodám, které jsou zapříčiněny agresivní jízdou nebo pouhou nepozorností řidiče (např. telefonováním, kouřením během řízení, mikrospánkem atd.).

S těmito fakty dochází k nehodám, které mohou mít pro lidský organismus devastující následky a mohou vést až k úmrtí člověka. Příkladem, kdy dochází k poranění lidského organismu, se můžeme setkat v činnostech spojených se značnou fyzickou námahou (při zaměstnání či u aktivního sportu apod.).

Vedle úrazů spojených se základním lékařským ošetřením (např. při popáleninách, odřeninách) dochází také ke zraněním vyžadující odbornější lékařský zákrok (např. při zlomeninách, vnitřních poraněních aj.).

Mezi závažná zranění vyžadující odbornější lékařskou pomoc patří také poranění 2. krčního obratle, které je způsobeno při situacích se značným vychýlením hlavy (autonehody, úrazy při lyžování aj.). Lékaři v současné době toto zranění léčí pomocí mechanického upnutí (šroubového spoje). Způsob, kterým se testují již zmíněné šroubové spojení, se odehrává za pomoci zalévání krčního obratle do dentakrylu.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout alternativní řešení ustavení krčního obratle pro zkoušení, které by vedlo k nahrazení stávajícího mechanického spojení.

Předkládaná práce obsahuje čtyři oddíly. V první kapitole popíši anatomii 1. a 2. krčního obratle, přesněji atlasu a čepovce, dále způsob zlomení a následné metody léčení zubu čepovce. Ve druhé části přiblížím popis stroje, na kterém probíhá lámání krčního obratle společně se současným způsobem uchycení a následnou simulaci lámání 2. krčního obratle. Ve třetí kapitole navrhu a vysvětlím alternativní

způsob uchycení krčního obratle do přípravku, který by nahradil doposud používaný. Ve čtvrté kapitole provedu samotný konstrukční návrh upínače s popisem jednotlivých částí konstrukce. V závěru následně rozeberu rozdíly mezi zaléváním krčního obratle do dentakrylu a navrhovaným konstrukčním řešením, přesněji výhody a nevýhody každého z nich a zhodnocení obou způsobů z časového (výrobního) a ekonomického hlediska.

1 ANATOMIE PÁTEŘE

Páteř, je osový orgán esovitého tvaru pohybového aparátu, který se skládá z dílčích segmentů (33-34 obratlů) navzájem spojenými meziobratlovými destičkami. Obratle jsou krátké kosti nepravidelného tvaru. Jejich základ tvoří tělo obratle, ze kterého vybíhá oblouk společně s výběžky. Páteř můžeme rozčlenit na jednotlivé úseky (viz obrázek č. 1), kterým přísluší vždy určitý počet obratlů:

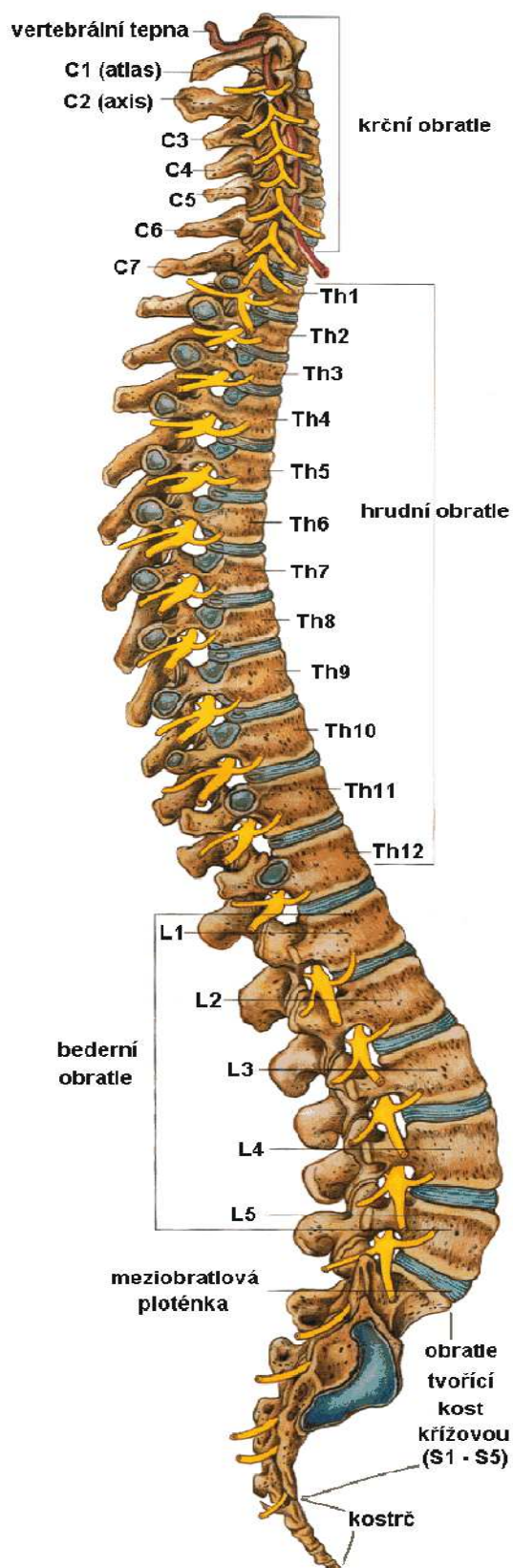
- krční (cervicales)
- hrudní (thoracicae)
- bederní (lumbales)
- kost křížová (os sacrum)
- kostrč (os coccygis)

V hrudní oblasti jsou k páteři pohyblivě připojena žebra (celkem 12), která se sbíhají společně s pletencem horních končetin¹ k hrudní kosti a společně tvoří soustavu nazývanou hrudní koš. Spojení horních a dolních končetin zajišťuje již zmíněný pletenec horních končetin a ve spodní části páteře tuto funkci plní pánevní kost. Pro zajištění ohebnosti, pohyblivosti a pevnosti soustavy (rozumíme lidského těla) se na páteři nachází soustava kloubů, vazů a zádových svalů.

V našem výzkumu se budeme zabývat pouze oblastí krčních obratlů, konkrétně 2. krčním obratlem.

¹ *Pletenec horní končetiny* je neúplný a horizontálně uložený prstenec kostí, který vpředu uzavírá hrudní kost. Vzadu je kruh otevřený - jsou zde jen svaly.

Obrázek č. 1 – Anatomie páteře²



² SOUČEK, T. *Biomechanika obratle krční páteře v rovnovážné poloze. [Disertační práce].* LIBEREC, TUL 2007.

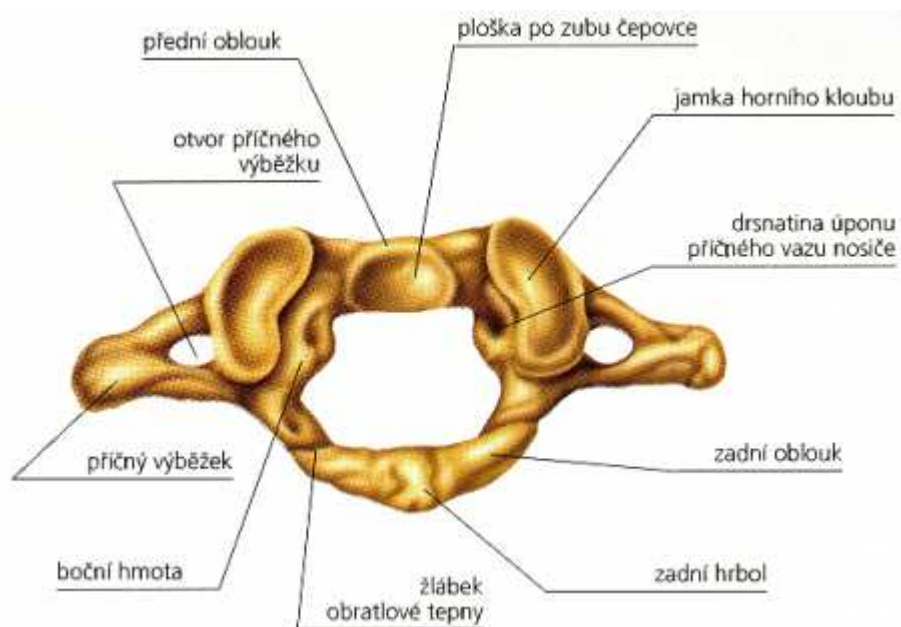
1.1 Krční páteř

Jak již z názvu vyplývá, následující téma se bude týkat oblasti krku, kde jsou uloženy jednotlivé krční obratle (C1÷C7), které jsou navzájem spojeny meziobratlovými destičkami. A právě mezi nimi dochází při různých nehodách, které jsou spojeny se značným vychýlením hlavy z rovnovážné polohy, k nejčastějším poraněním krčních obratlů.

1.2 Krční obratel C1 – Atlas (Nosič)

Jedná se o krční obratel prstenčitého tvaru. Atlas na rozdíl od ostatní krčních obratlů nemá tělo obratle. Na místě, kde mělo být tělo krčního obratle, se nachází kostěný oblouk. Nejdůležitější částí atlasu je kloubní plocha pro zub čepovce, která se nalézá na předním oblouku.

Obrázek č. 2 – Nosič (Atlas)³



³ Dostupné na:

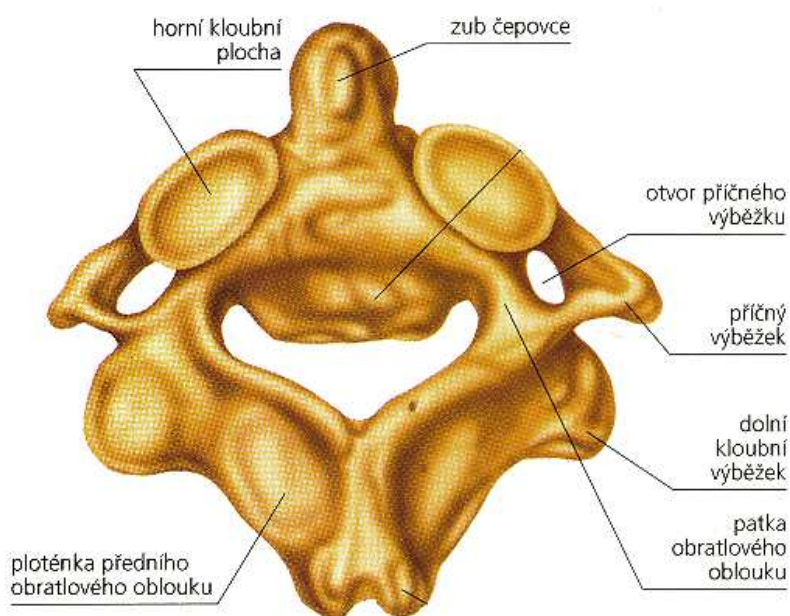
http://www.gsosp.cz:5050/bio/Sources/Photogallery_Detail.php?intSource=1&intImageId=29 [2011-12-20]

1.3 Krční obratel C2 - Axis (Čepovec)

Krční obratel (C2) svým tvarem připomíná ostatní obratle (krční, hrudní apod.), nicméně slouží jako nosič hlavy, a proto je tvarově (tzn. svoji mohutností) přizpůsobený pro tuto funkci. Nejdůležitější částí čepovce je tělo, ze kterého vybíhá trnovitý výběžek (tj. zub čepovce). Zub čepovce je kloubně spojený s předním obloukem prstence atlasu. Ostatní části čepovce jsou popsány na obrázcích č. 3 a 4.

Ve své práci se však budu zabývat pouze trnovitým výběžkem (tzn. zubem čepovce) vybíhajícím z těla čepovce, protože se jedná o nejčastější místo poranění při silovém působení na oblast krční páteře.

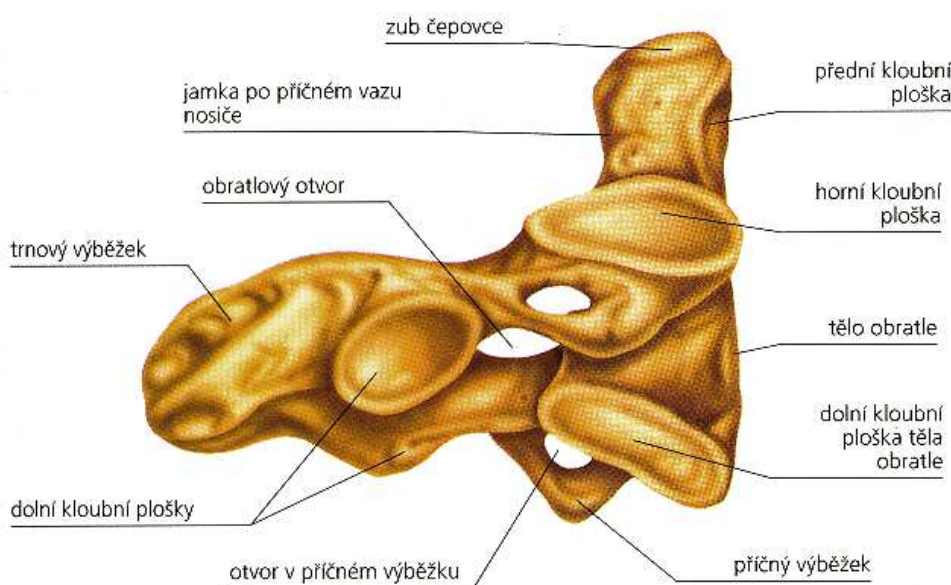
Obrázek č. 3 - Axis (čepovec) – horní pohled⁴



⁴ Dostupné na:

http://www.gsosp.cz:5050/bio/Sources/Photogallery_Detail.php?intSource=1&intImageId=35 [2011-12-20]

Obrázek č. 4 - Axis (čepovec) – boční pohled⁵



1.4 Způsoby zlomení čepovce

K poranění 2. krčního obratle dochází při působení sil, které svoji podstatou odpovídají nejčastěji rázovému zatěžování. Na krční obratel v krátkém časovém intervalu je vyvinuta značně velká dynamická síla⁶. Hlava je v takto krátkém okamžiku za značného působení síly vychylována do mezních poloh nebo rychle mění směr svého pohybu. Mezními polohami rozumíme krajní polohy hlavy u pohybu v příčném nebo podélném směru.

S praktickými případy se lze v praxi setkat nejčastěji u automobilových nehod, kdy je celé tělo vrženo setrvačnou silou proti volantů a hlava je následně pomocí bezpečnostního systému (airbagu) prudce vychýlena zpět. Ze studií automobilových crash testů je hlava vychylována „mírně“ (cca 20÷42°) od osy těla. Lomná plocha zubu čepovce je proto různá (přímá, zkosená). Nejčastějšími případy, kdy dochází k lomu čepovce, jsou pády a nárazy na hlavu spojené

⁵ Dostupné na:

http://www.gsosp.cz:5050/bio/Sources/Photogallery_Detail.php?intSource=1&intImageId=36 [2011-12-20]

⁶ Během působení dynamických sil dochází v závislosti s časem ke změně velikosti a smyslu napětí z kladného na záporné.

se značným zakloněním hlavy (např. cyklistické nehody, pády ze stromu na hlavu apod.).

1.5 Způsoby léčení čepovce

Metody spojení poraněného obratle prošly během let řadou vývojových etap. Jako jednu z prvních historicky doložených metod použil Gallieho metodu spojení zlomeného krčního obratle. *„Historicky se jednalo nejprve o přístup dle Gallieho, poprvé zmíněný v roce 1939, který spočívá v umístění kostního štěpu v dorsální části zadního oblouku atlasu a zadní části processis sponosus, mediální části oblouku čepovce.“*⁷

V dnešní době se však setkáváme převážně se dvěma metodami spojení zlomeniny. V prvním případě se jedná o metodu „zadního přístupu“ a ve druhém případě o metodu „předního přístupu“.

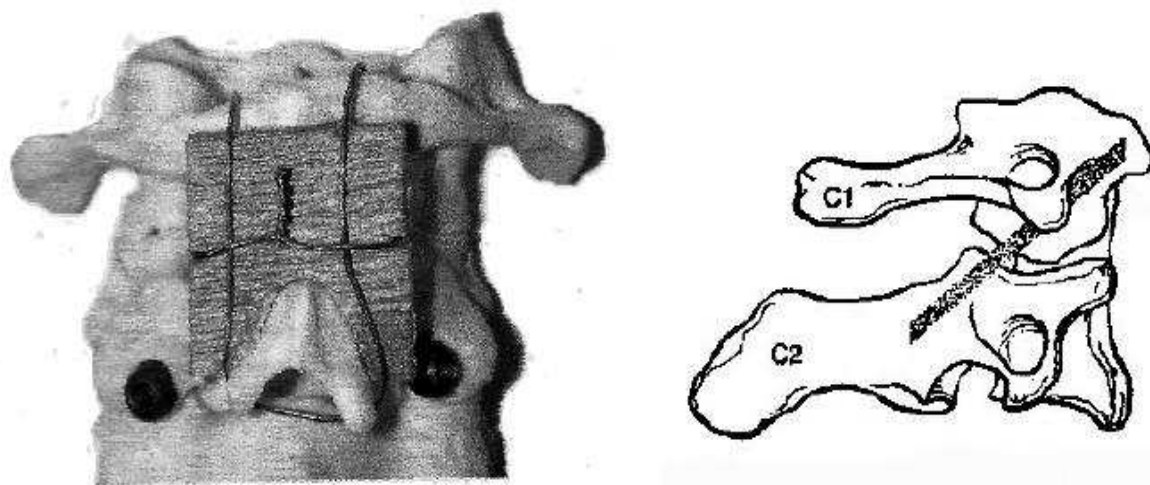
Volba druhu šroubu (kortikální, spongiosní, kanylovaný), počtu šroubů a způsobu provedení operace, zdali metodou „předního přístupu“ nebo „zadního přístupu“, zcela závisí na volbě lékaře

1.5.1 Metoda zadního přístupu

Metoda zadního přístupu prošla od svého vzniku mnoha modifikacemi, kdy se k čepovci připevňoval kostní štěp, který se následně přidrátovával k zadnímu oblouku čepovce až po zavádění transartikulárních šroubů (3,5 kontikulárních), které zajistily vyšší mechanickou stabilitu. Transartikulární šrouby lze modifikovat pomocí kostního štěpu případně sublaminární kličky, což zajistí vyšší mechanickou stabilitu.

⁷ ČAPEK, L. *Napjatost a deformace ve zdravé a patologické krční páteři.* [Disertační práce]. Liberec, TUL 2006.

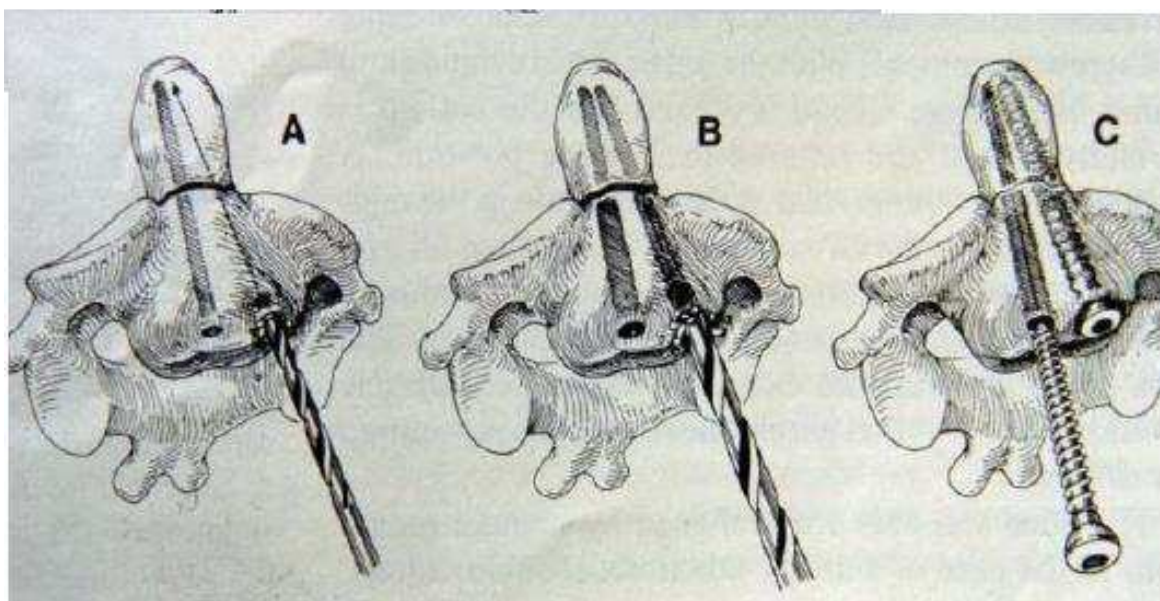
Obrázek č. 5 - Atlantoaxiální fúze dle Magerla⁸



1.5.2 Metoda předního přístupu

Přední přístup spočívá v zavedení spojovacího šroubu z přední oblasti krku, kdy do zlomené kosti navrtáme jeden nebo dva spojovací šrouby.

Obrázek č. 6 - Postup při zavádění tahových šroubů do dens axis⁹



⁸ Tamtéž.

⁹ Tamtéž.

Lékaři však většinou používají pro spojení čepu s čepovcem dva šrouby, jelikož nemají důvěru pro spojení kosti pouze jedním šroubem.

Snahou lékařů je spíše používat metodu předního přístupu jelikož s sebou nese některé důležité výhody:

- přední přístup je méně invazivní než zadní
- nedochází k snížení pohyblivosti (rotace) mezi atlasem a čepovcem
- jednoduchá pooperační péče a rehabilitace

1.6 Šroubová spojení

Z hlediska typu se můžeme v lékařské praxi setkat se dvěma druhy šroubových spojů. Prvním druhem je spoj přímý, kdy zlomenou(é) kost(i) navzájem sešroubujeme. Druhá metoda šroubového spoje se nazývá nepřímá. Princip metody nepřímé spočívá v zavedení šroubů nikoliv jako šroubů spojovacích, ale jako šroubů fixačních. K poraněnému tělu¹⁰ se přiloží implantát (dlaha) a pomocí šroubů se zafixuje.

Metoda šroubového spojení slouží pro spojení úlomku kostí, kdy se kosti navzájem spojí šroubem pomocí tahových šroubů nebo šroubů kortikálních či spongiosních.

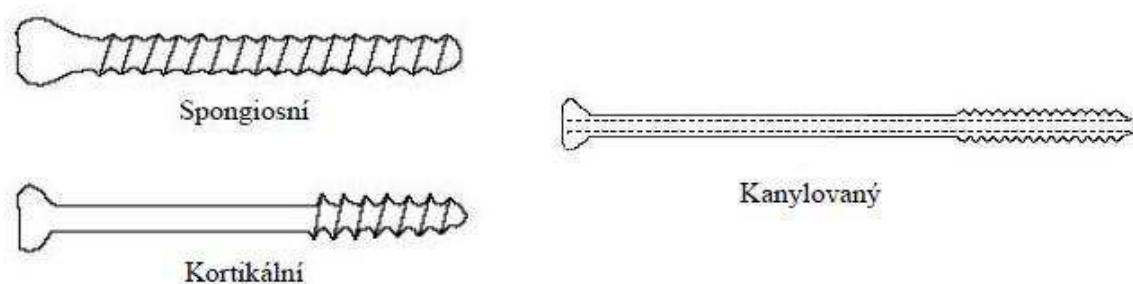
Pro použití některých druhů šroubů je třeba do kosti zhotovit závit, aby se zabránilo samovolnému uvolnění šroubu.

Šrouby dělíme podle druhu na:

- kortikální
- spongiosní
- kanylovaný

¹⁰ Rozumíme zlomeninu, kdy dojde k rozdělení krčního obratle na dva kusy nebo pouze k fraktuře.

Obrázek č. 7 – Druhy šroubů: kortikální, spongiosní a kanylovaný¹¹



„Kanylované šrouby používáme tam, kde je potřeba nejprve zavrtat do obratle drát (například šikmé zlomeniny, které by při přímém vrtání ujížděly).“¹²

První zmínky o použití šroubových spojení spadají do poloviny 16. století. Avšak první zmínka o použití kovových spojů se objevila koncem 19. století (Roentgenův objev). V současné době je snaha využívat materiály na bázi inertních kovů z důvodu lepší materiálové biokompatibility¹³ (tzn. z důvodu lepší reakce).

¹¹ ČAPEK, L. *Napjatost a deformace ve zdravé a patologické krční páteři.*[Disertační práce]. Liberec, TUL 2006.

¹² Tamtéž.

¹³ Materiálová inkompatibilita = schopnost těla vhodně reagovat na použitý druh materiál v jeho těle.

2 PROVÁDĚNÍ ZKOUŠEK

2.1 Laboratorní simulace

Laboratorní simulace se prováděla pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2011 (za použití metody konečných prvků). Snahou bylo zjistit vliv působících napětí na krční obratel a přípravek. Tudíž stanovit vhodné upínání obratle.

Krční obratel jsme podrobili sérii simulací při působení silových účinků (smykového, normálového apod.), abychom zjistili, jakým způsobem se krční obratel deformoval.

Z vypočtených výsledků je zřejmé, že při zatížení dochází pouze k napětí v oblasti zubu (viz Přílohy A.8 a A.9). To je z hlediska zkoušky místo, kde požadujeme zlomení čepovce. Samotný přípravek se vlivem působení sil od samotného krčního obratle nikterak nedeformoval.

Výsledky naměřených hodnot pomocí programu Inventor přikládám v Příloze A.4.

2.2 Trhací stroj TIRAtest 2810

Zkouška lámání obratle se prováděla na trhacím stroji značky TIRA (konkrétně na trhacím stroji TIRAtest 2810 s maximální možným zatížením 10 kN a posuvem v intervalu hodnot $(0,01 \div 500 \text{ mm/min})$).

Obrázek č. 8 – Trhací stroj TIRAtest 2810



Celou technickou dokumentaci stroje TIRAtest 2810 přikládám v Příloze B.1, která jsou součástí bakalářské práce.

Na trhacím stroji byl dodán program od stejného výrobce TIRA. Bohužel na tomto stroji nemůžeme zkoušet krční obratel z hlediska dynamického namáhání. Z toho vyplývá, že získané hodnoty nebudou zcela odpovídat skutečnosti, ale pro potřeby praxe jsou dostatečné.

Cílem zkoušky (tzn. lámání zubu čepovce) bylo zjistit, zdali by pro metodu předního přístupu postačil pouze jeden šroub s možností určité modifikace (například s použitím alternativních materiálů), nebo vývoj nového šroubu, který by nahradil doposud používané.

2.3 Účel přípravku

Přípravek je určen jako pomůcka pro testování (pevnosti šroubového spojení) krčního obratle na trhacím stroji TIRAtest 2810. Přípravek jsem konstruoval jako náhradu za dosavadní způsob uložení krčního obratle. Hlavním kritériem konstrukce přípravku je časová nenáročnost a možnost korekcí uložení s krčním obratlem během zkoušky.

2.4 Způsob uložení krčního obratle zalitím do dentakrylu

Dle dostupných informací se v současné době provádí uložení krčního obratle zalitím do dentakrylu.

Obrázek č. 9 – Krční obratel zalitý v dentakrylu



Tato metoda má značné nevýhody, které ovlivňují průběh celé zkoušky. Jmenovitě se jedná o časovou náročnost při přípravě zalévací hmoty (dentakrylu) a také vlastní zalití krčního obratle a vytvrdnutí. Tyto nevýhody se projeví zvláště při menším počtu¹⁴ současně zkoušených vzorků. Další nevýhodou tohoto způsobu je nemožnost korekcí ustavení vzorků v případě potřeby, tudíž dochází mnohdy k nepřesným měřením.

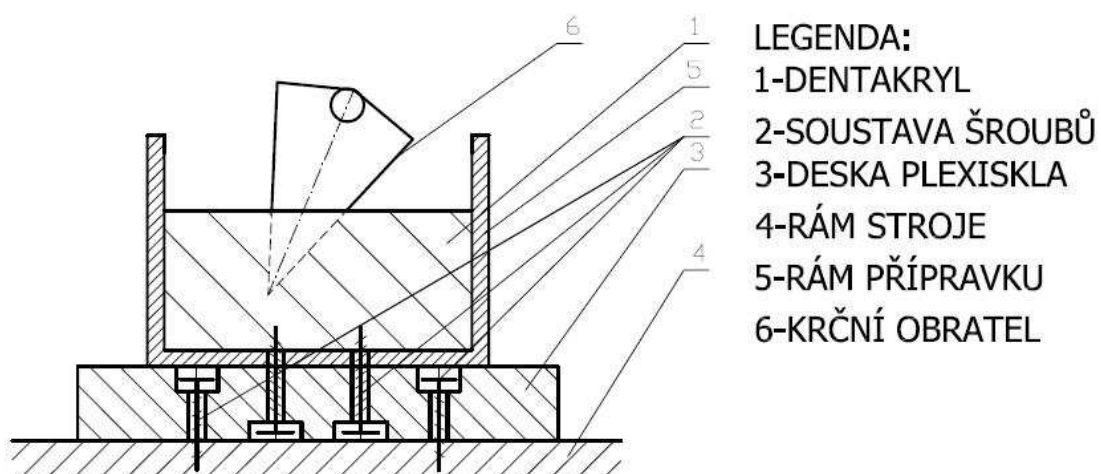
¹⁴ Menším počtem vzorků je v tomto případě myšleno kusové neboli malosériové zkoušení.

Zavedení samotného přípravku do trhacího stroje vyžaduje speciální upínací přípravek (svěrák). Jiný způsob ustavení je zobrazený na obrázcích č. 10 a 11. Přípravek je v tomto případě mechanicky spojen přes desku plexiskla k trhacímu stroji.

Obrázek č. 10 – Uchycení přípravku v TIRAtest 2810



Obrázek č. 11 – Schéma upnutí za pomoci plexisklové desky zalitého krčního obratle



Z dostupných materiálů lze zjistit, že v zahraničí se využívá stejný postup uložení (tj. zalitím vzorku do dentakrylu).

Obrázek č. 12 – Uložení krčního obratle využívaný v zahraničí



3 IDEOVÝ NÁVRH UPÍNAČE

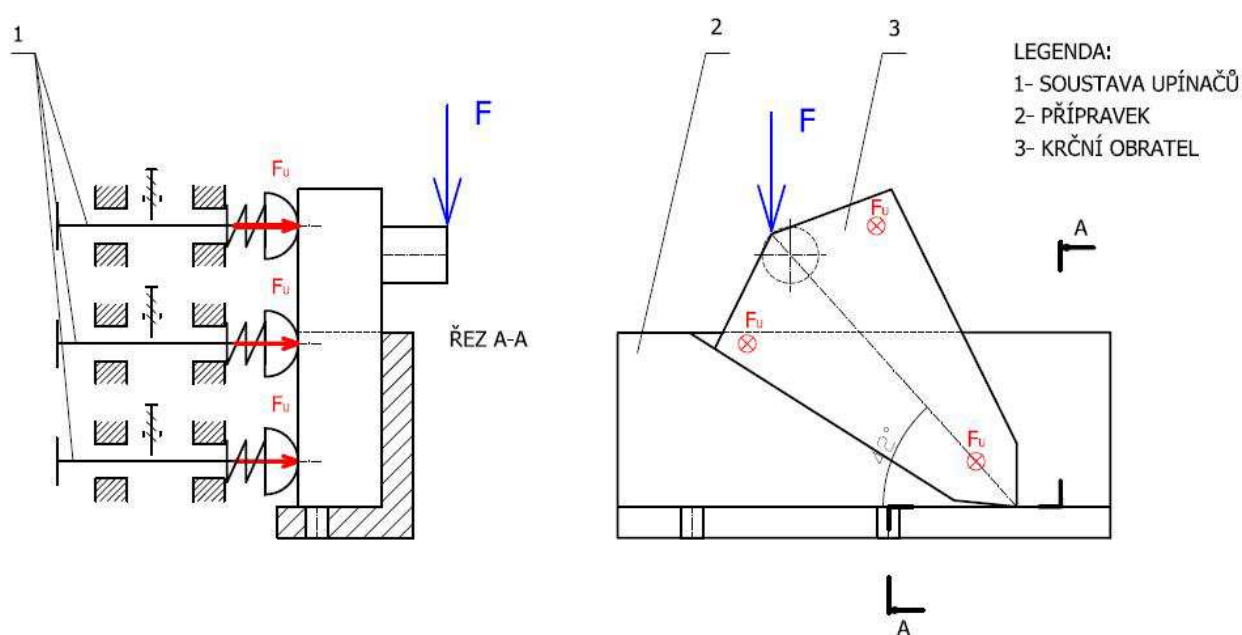
Z dostupných informací se lámání krčního obratle provádí na trhacích strojích. Trhací stroj dokáže zatěžovat krční obratel pouze quasi-statickou silou. Tudíž mechanismus lomu zcela neodpovídá realitě.

Alternativou za trhací stroj by byla metoda založena na principu Charppého kladiva, kdy vzorek podrobíme rázovému působení sil. Z úbytku kinetické energie lze zjistit působící sílu potřebnou k zlomení zubu čepovce. A z působící síly lze navrhnout dostatečně pevný šroubový spoj. Tímto problémem bych se chtěl částečně zabývat v dalším pokračování studia.

3.1 Přípravek na principu podpěr

Přípravkem v tomto případě můžeme rozumět svařenec. Skládá se z kotvicí desky, která je připevněna k trhacímu stroji pomocí soustavy děr. Poloha děr není symetrická (touto problematikou se budu zabývat v kapitole 4.1) vůči ose přípravku, ale posunutá o určitou hodnotu x .

Obrázek č. 13 – Konstrukce přípravku s využitím podpěrných bodů



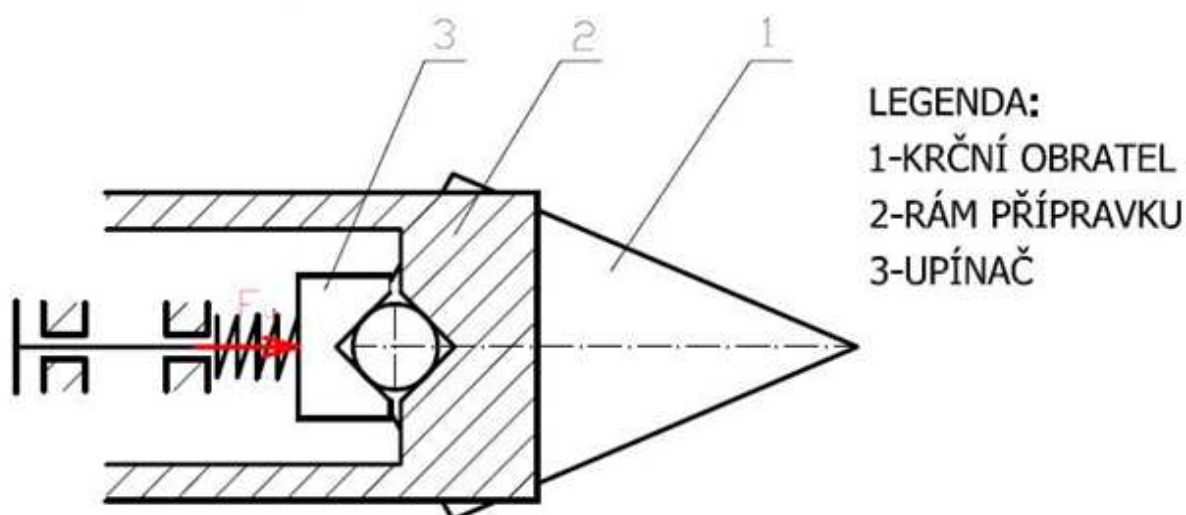
Na těle přípravku je přivařená plocha pod úhlem 42° (viz obrázek č. 13). Zkosená část plní funkci opěrnou a zároveň vymezovací¹⁵.

Třetí částí je soustava pružinových upínačů, které zajistí dostatečný přítlak ke kotvící desce a zároveň zabráni nežádoucím destrukcím. Soustava upínačů je složena z kovového pouzdra s těsněním. Pohyb upínačů je zajištěn pomocí pružiny, která se pohybuje vlivem pružiny, šroubu (eventuálně kolíku) a dosedacích hlav. Dosedací hlavy jsou kulového tvaru. Kulový tvar zajistí styk krčního obratle s dosedací hlavou pouze v jednom místě. Pružiny „přitlačí“¹⁶ dosedací hlavu na plochu krčního obratle a pomocí šroubů zajistíme pružinu proti jejímu navrácení do klidové polohy.

3.2 Upnutí krčního obratle za pomoci zubu čepovce

Způsob upnutí částečně simuluje uložení mezi čepovcem a atlasem. Zub čepovce je pevně spojen s přípravkem. Tento druh uložení je zvolen z důvodu podobného umístění obratlů v krční páteři. Na tělo je pomocí razníku vyvinuta síla, pod níž dojde k lomu čepovce.

Obrázek č. 14 – Schematické uchycení krčního obratle za zub čepovce

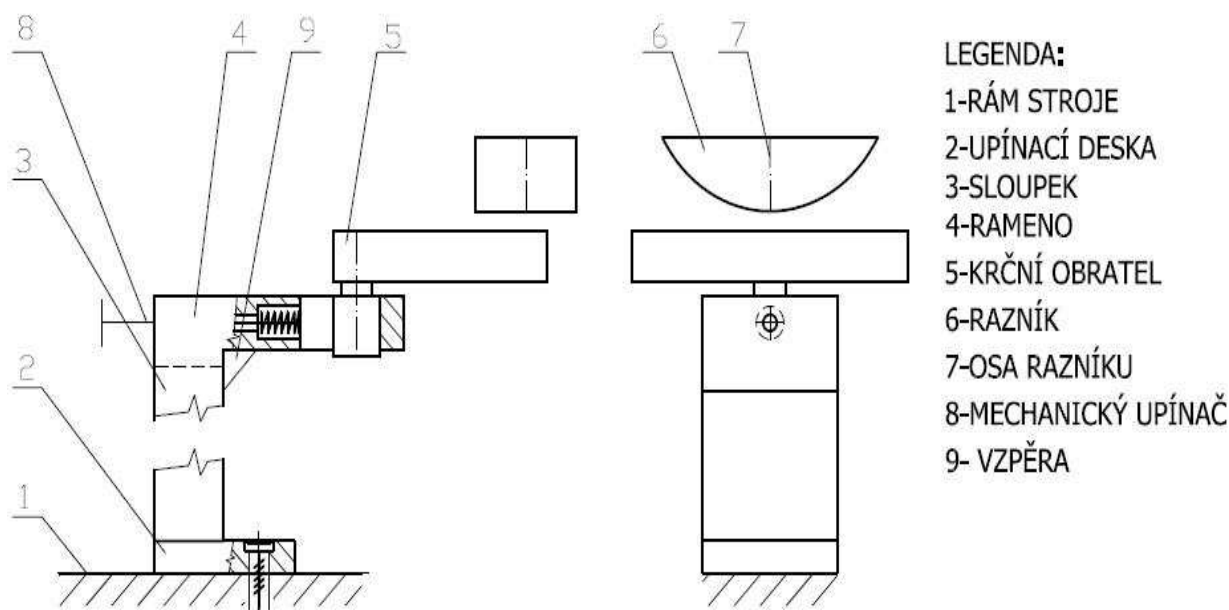


¹⁵ Vymezením rozumíme uložení obratle pod úhlem 42° .

¹⁶ Krční obratel není přitlačen, nýbrž dojde pouze k zamezení pohybu krčního obratle od kotvící desky.

Přípravek je konstruován tak, aby svým tvarem umožnil mechanické spojení mezi trhačím strojem a přípravkem. Jedná se o svařovanou konstrukci skládající se z částí dle obrázku č. 15.

Obrázek č. 15 – Konstrukční schéma přípravku



V rameni přípravku je vrtačkou vyvrtána soustava děr (dle obrázku č. 15). Vzniklým otvorem v rameni přípravku vedeme upínací mechanismus. Pružina upínacího mechanismu musí mít takový rozměr, aby se v klidové poloze¹⁷ dotýkala stykových ploch prizmatického ložení na rámu upínače. Tím se zajistí přítlak k uchycení krčního obratele do přípravku. Mechanický upínač se zároveň zajistí pomocí šroubu z důvodu zamezení „vyvrácení“ krčního obratele z přípravku. Sloupek přípravku musí být dostatečně tuhý, aby při působení razníku nedošlo k deformaci přípravku. Proto jsem jako vhodný materiál zvolil konstrukční ocel 11 700. V důsledku působící síly od razníku je proti prohnutí ramene ke konstrukci přivařena vzpěra. Spojení přípravku se strojem je pomocí šroubů dodávaných společně s trhačím strojem.

¹⁷ Tj. poloha, kdy v přípravku není vložený obratel.

4 KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU

Výhoda navržené konstrukce spočívá v jejím snadném a rychlém ustavení, dále v možnostech změny její polohy a ve vyjmutí vzorku. Z tohoto důvodu jsem jako jeden z vhodných způsobů zvolil konstrukci na principu mechanického upnutí.

Přípravek se skládá z několika částí:

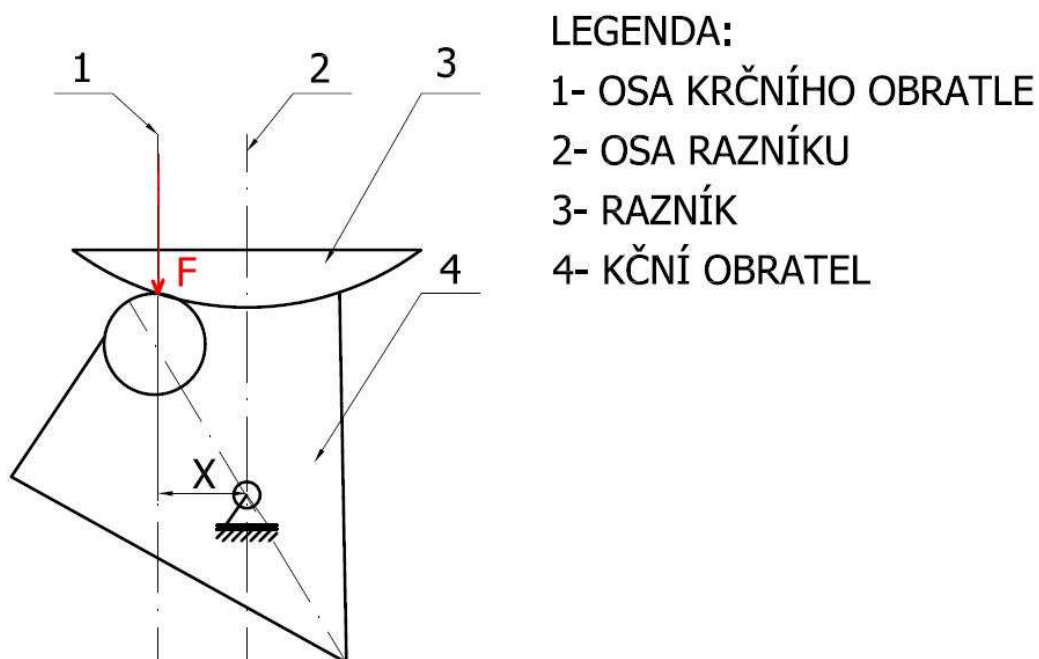
- kotvící desky
- upínací desky
- soustavy podložek
- upínacího mechanismu

4.1 Kotvící deska

Kotvící deska je část přípravku, která je uchycena přes drážku k trhacímu stroji pomocí dvou šroubů M6. Drážka na kotvící desce je posunutá o hodnotu x tak, aby razník trhacího stroje narazil do zubu čepovce přesně v ose razníku.

Při symetrickém uložení kotvící desky v trhacím stroji působí na zub čepovce složka síly F_y mimo osu razníku. V jejím důsledku bude na vzorek působit moment síly.

Obrázek č. 16 – Síly působící při symetrickém uložení kotvící desky



Jelikož během zkoušky je obratel pokryt zbytky lidské tkáně (vazy, šlachami, svalovou hmotou apod.) může docházet při působení momentu síly k otáčení vzorku v přípravku, proto je přípravek uložen nesymetricky o hodnotu x .

Dalšími částmi na kotvící desce je soustava děr. Skrz soustavu děr se propojí upínací deska s kotvící. Ve středu desky vedeme čep upínacího zařízení. Do kotvící desky umístíme vložku s mazivem, abychom zajistili plynulý chod upínacího zařízení.

4.2 Upínací deska

Upínací deska se skládá ze dvou příložných desek, které zajistí korekce krčního obratle pod požadovaným úhlem. Větší úhly na upínací desce lze nastavit pomocí vyfrézované drážky. Pro zajištění plynulosti chodu upínacího mechanismu je v díře uložena vložka s mazivem.

4.3 Podložky

Podložky jsou vyrobeny z konstrukční oceli. Při větších rozměrech krčního obratle lze vyjímat dílčí segmenty. Tím dochází ke korekci upínací desky. Korekcemi zároveň zajistíme působení razníku pouze v zubu čepovce.

4.4 Upínací mechanismus

Snadné zakládání a vyjímání krčního obratle z přípravku je zajištěno pomocí upínacího mechanismu.

Upínací mechanismus se skládá z dílčích segmentů:

- upínací čep
- pryžová výplň
- výstředníková páka
- spojovací prvek

4.4.1 Upínací čep

Jedná se o část upínacího mechanismu, který zajistí spojení krčního obratle s tělem přípravku. Konstrukční osazení čepu je pro opření pryžové výplně. Vyvrtanou dírou $\varnothing d = 8 \text{ mm}$ zavedeme zajišťovací prvek. Ten spojí výstředníkovou páku společně s upínacím čepem.

4.4.2 Pryžová výplň

Za použití tuhého materiálu (např. šroubu s půlkovou hlavou) by docházelo z důvodu členitého tvaru spinálního kanálu k bodovým dotykům, kterými by se šířilo největší upínací napětí. To by způsobilo destrukci krčního obratle mimo oblast zubu čepovce. Proto jsem jako vhodný materiál zvolil pryž.

Obecně je pryžový materiál díky svým plastickým schopnostem vhodným materiálem pro vyplnění tvarově komplikovaných součástí. Zakládání na upínací čep je realizováno dírou v ose pryžové výplně. Tvar komolého kužele je volen na základě různých velikostí spinálních kanálů. Kuželem dosáhneme rovnoměrného vyplnění pryže ve spinálním kanálu a tím dojde k rovnoměrnému rozložení napětí na tomto kanálu. Jeho vyplněním také docílíme rovnoměrného rozložení napětí.

4.4.3 Výstředníková páka

Výstředníkovou pákou (dále jen výstředník) zajišťujeme přítlak krčního obratle k upínací desce přes pryžovou výplň a upínací čep. Výstředník z důvodu malých zdvihů, v mém případě $h = 1,5 \text{ mm}$, částečně rozloží tlak na spinální kanál.

4.4.4 Spojovací prvek

Jedná se o čep s hlavou, kterým spojím upínací čep spolu s výstředníkem. Zajištění čepu je provedeno pomocí kolíku.

ZÁVĚR

Současným trendem výroby v praxi je zajistit výrobu strojních součástí s minimálními finančními prostředky a v co nejkratším čase. Z toho důvodu jsem si zvolil za cíl ve své bakalářské práci nahradit v současné době používanou metodu ustavení zalitím 2. krčního obratle do dentakrylu alternativní metodou.

Doposud používaná metoda, tj. zalití krčního obratle do dentakrylu, má své výhody i nevýhody. Vytvrzení materiálu se pohybuje v řádu hodin až několika dnů v závislosti na tloušťce vytvrzovací vrstvy a na laboratorních podmínkách. Při zalévání krčního obratle do dentakrylu musíme dále přihlížet k faktu, že při špatném vytvrdnutí hmoty může dojít k vylomení obratle, a proto je tento způsob zalévání krčního obratle vhodnější pro sériovou nebo velkosériovou výrobu s vhodně zajištěnými laboratorními podmínkami.

Z hlediska konstrukčního je jednodušším způsobem zalit krční obratel do dentakrylu. Jedná se totiž o „pouhé“ vložení krčního obratle do připravené formy a následné zalití. Korigování zalitého krčního obratle je značně sníženo nebo zcela zamezeno.

Z ekonomického hlediska se však jedná o dražší způsob ustavení. Je to dáno faktem, že na jeden krční obratel potřebujeme jednu formu. Z toho vyplívá nutnost většího počtu forem potřebných k zalití během zkoušení, a tudíž je výhodnější použít tento způsob řešení při větších sériích vzorků.

Zalitý obratel lze do trhačního stroje upnout jen za pomoci jiného přípravku, který je popsán v kapitole 2.4. Díky tomu se zvýší náklady spojené s pořízením nebo výrobou těchto upínacích přípravků. Další nevýhodou je čas potřebný k upevnění zalitého obratle ke stroji.

Celkově se tedy zalévání do dentakrylu vyplatí pro pokusy se značným počtem krčních obratlů.

S přihlédnutím na ekonomické a časové úspory požadavku konstrukce jsem navrhl jako jeden z vhodných způsobů upnutí přípravků s použitím mechanického upnutí, které s sebou přináší rovněž výhody i nevýhody.

Zhotovení přípravku se provádělo za pomoci konvenčních obráběcích strojů (např. vrtačky, soustruhu apod.), a proto je tato výroba vhodná i do malých nebo středně velkých strojních podniků. Navíc materiály spjaté s výrobou přípravku patří k běžně dostupným na trhu, a tudíž odpadá nutnost objednávat speciální materiály pro zajištění výroby. Jednoduchost konstrukce nevyžaduje potřebu speciálně kvalifikovaných pracovníků. Výrobu tak může zajistit jeden pracovník se základními znalostmi v oblasti obrábění a montáže.

S využitím mechanického upnutí také odpadá příprava a vytvrzování zalévací hmoty (dentakrylu). Použitím mechanického upnutí krčního obratle snížíme vznik rizika vylomení krčního obratle z přípravku.

Mechanické spojení dále nám umožní snadno a rychle vyměnit nebo korigovat jednotlivé prvky na přípravku i během zkoušky. Například lze upínací desku otáčet v intervalu hodnot úhlů společně s upnutým obratlem. Což v případě zalití do dentakrylu nelze. Toto řešení dále nabízí přímé spojení přípravku s trhacím strojem.

Síly, kterými jsme působily během zkoušení na krční obratel, jsou quasi-statického charakteru. Během lomu zubu čepovce, spojeného s nehodami se značným vychýlením hlavy mimo osu, dochází k dynamickému působení sil. Nicméně při zatěžování jsme dosáhli výsledků, které byly pro další práci s obratlem vyhovující.

V budoucnu bych se chtěl tímto tématem nadále zabývat a rád bych nastínil přípravek vhodný pro dynamické zatěžování. další návrh přípravku společně s metodou lámání při působení rázových sil nebo při dynamickém zatěžování.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČAPEK, L. *Napjatost a deformace ve zdravé a patologické krční páteři. [Disertační práce]*. LIBEREC, TUL 2006
- [2] SOUČEK, T. *Biomechanika obratle krční páteře v rovnovážné poloze. [Disertační práce]*. LIBEREC, TUL 2007.
- [3] DYLEVSKÝ, I. *Anatomie a fyziologie člověka*. 1.vyd. Olomouc: EPAVA, 1998. Kapitola: Páteř a kostra hrudníku, s. 65-71. ISBN 80-901-667-0-9.
- [4] ČIHÁK, R. *Anatomie 1*. 2. upr. a dopl. vyd. Praha : Grada publishing, 2007. Kapitola: Páteř, s. 556. ISBN 80-7169-970-5.
- [5] Pletenec horní končetiny (vysvětlení pojmu) [online]. Praha: Karlova univerzita: Katedra anatomie a biomechaniky, 1999. [cit. 2.12.2011]. Dostupné na:
http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/anatomie/hk_pletenec.php
- [6] STUHLÍK, A. *Přípravky, jejich význam a konstrukce*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství Národní práce v Praze, 1944. 475 s. ISBN-
- [7] SEIDLER, A., a kolektiv. *Příručka nářadí ČSN upínací nářadí nástrojů a obrobků*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. 1960. 346 s. ISBN-
- [8] PEŠÍK, L. *Části strojů, 1. díl*. 4. vyd. dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, TUL, 2010. Kapitola: Dynamická napětí, s. 16-18. ISBN 978-80-7372-573-0.
- [9] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 1. vyd. Úvaly: pedagogické nakladatelství ALBRA, 2003. 865 s. ISBN 80-86490-74-2.

- [10] ČERNOCH, S. *Strojně technická příručka, 2 díl.* 12. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, SNTL, 1968. Kapitola: Zkoušky vrubové houževnatosti, s. 1502-1504. ISBN-
- [11] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. *Fyzika: Část 1 - Mechanika.* Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1868-0.
- [12] PUSTKA, Z. *Základy konstruování: (Tvorba technické dokumentace).* 3. vyd. Liberec: TUL, 2007. ISBN 978-80-7372-270-8.

PŘÍLOHY

Příloha A.1 – Přehled mechanických vlastností - přípravek

Název	Ocel	
Obecné	Měrná hmotnost	7,85 g/cm ³
	Mez kluzu v tahu	207 MPa
	Mez pevnosti v tahu	345 MPa
Napětí	Youngův modul	210 GPa
	Poissonova konstanta	0,3 ul
	Modul pružnosti	80,7692 GPa
Tepelné napětí	Koeficient roztažnosti	0,000012 ul/c
	Tepelná vodivost	56 W/(m K)
	Měrné teplo	460 J/(kg c)
Názvy součástí	Součást2 Součást3 Součást3 Součást1	

Příloha A.2 – Přehled mechanických vlastností - 2. krční obratel

Název	Kortikalni_kost	
Obecné	Měrná hmotnost	1000 g/cm ³
	Mez kluzu v tahu	100 MPa
	Mez pevnosti v tahu	120 MPa
Napětí	Youngův modul	0,3 GPa
	Poissonova konstanta	0,33 ul
	Modul pružnosti	0,112782 GPa
Tepelné napětí	Koeficient roztažnosti	0,0000183 ul/c
	Tepelná vodivost	62 W/(m K)
	Měrné teplo	436 J/(kg c)
Názvy součástí	Axis_Neustupa	

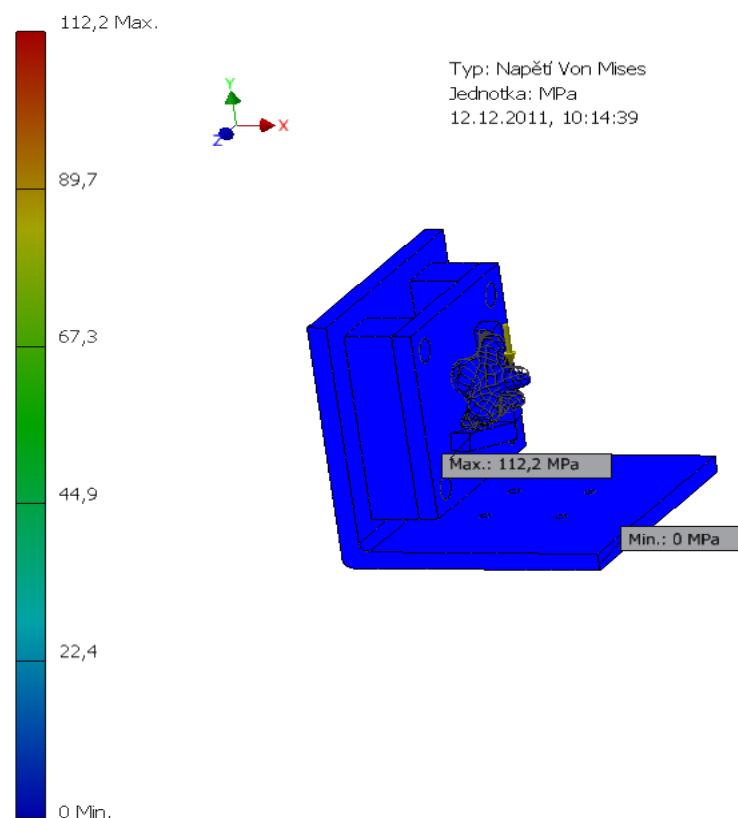
Příloha A.3 – Vlastnosti působící síly

Typ zatížení	Síla
Velikost	600,000 N
Vektor X	0,000 N
Vektor Y	-600,000 N
Vektor Z	0,000 N

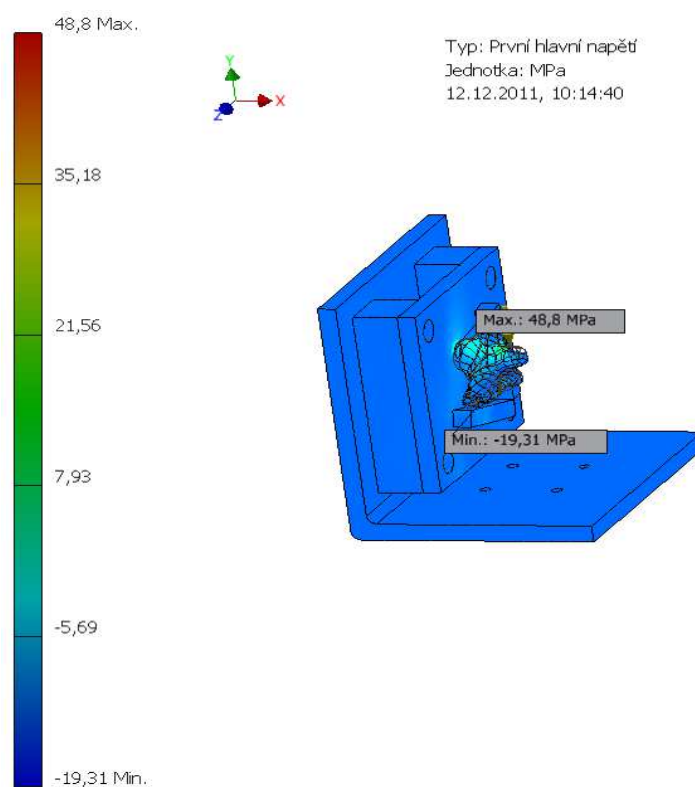
Příloha A.4 – Přehled napětí použitých při zatěžování 2. krčního obrátle

Název	Minimální	Maximální
Objem	731277 mm ³	
Hmotnost	25,8301 kg	
Napětí Von Mises	0,00000406754 MPa	112,163 MPa
První hlavní napětí	-19,3137 MPa	48,8028 MPa
Třetí hlavní napětí	-138,464 MPa	20,2951 MPa
Posunutí	0 mm	4,20189 mm
Součinitel bezpečnosti	0,891556 ul	15 ul
Napětí XX	-79,5671 MPa	46,7065 MPa
Napětí XY	-56,8968 MPa	18,2712 MPa
Napětí XZ	-18,7565 MPa	24,8569 MPa
Napětí YY	-91,8749 MPa	23,3522 MPa
Napětí YZ	-26,2253 MPa	11,8246 MPa
Napětí ZZ	-40,3602 MPa	23,239 MPa
Posunutí X	-1,05958 mm	1,33161 mm
Posunutí Y	-4,07824 mm	0,0653254 mm
Posunutí Z	-0,960205 mm	0,205534 mm

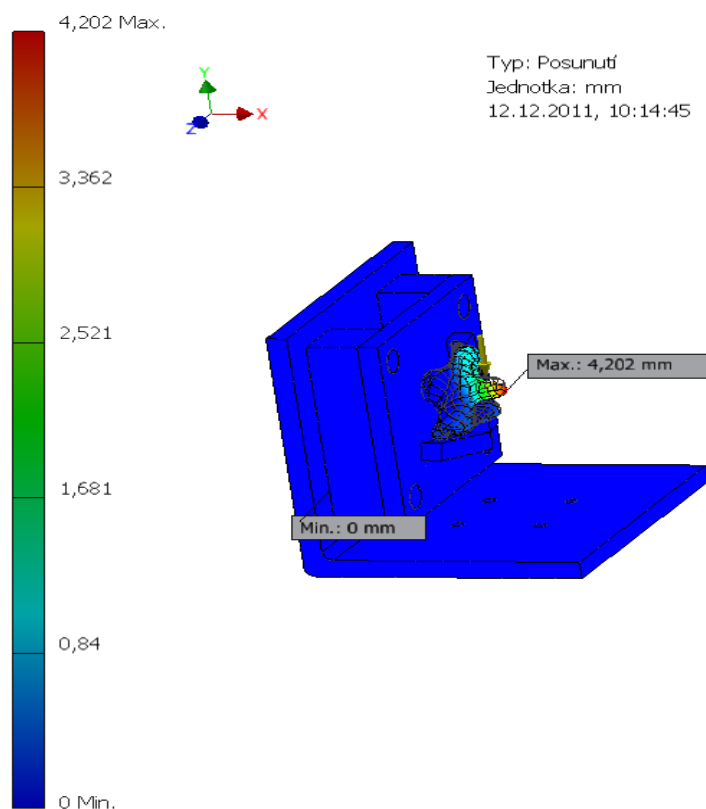
Příloha A.5 – Napětí Von Mises [Mpa]



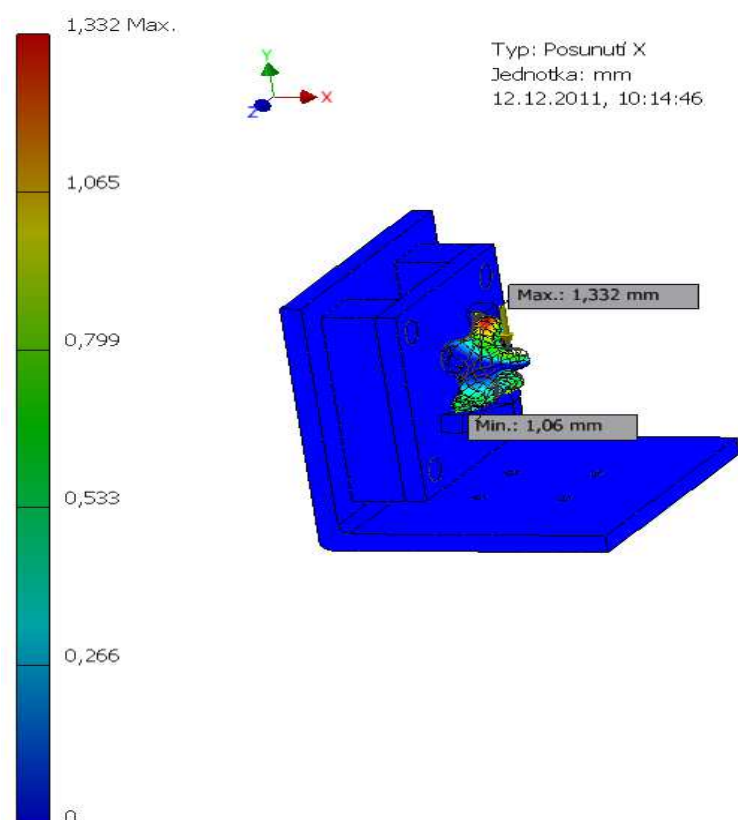
Příloha A.6 – První hlavní napětí [Mpa]



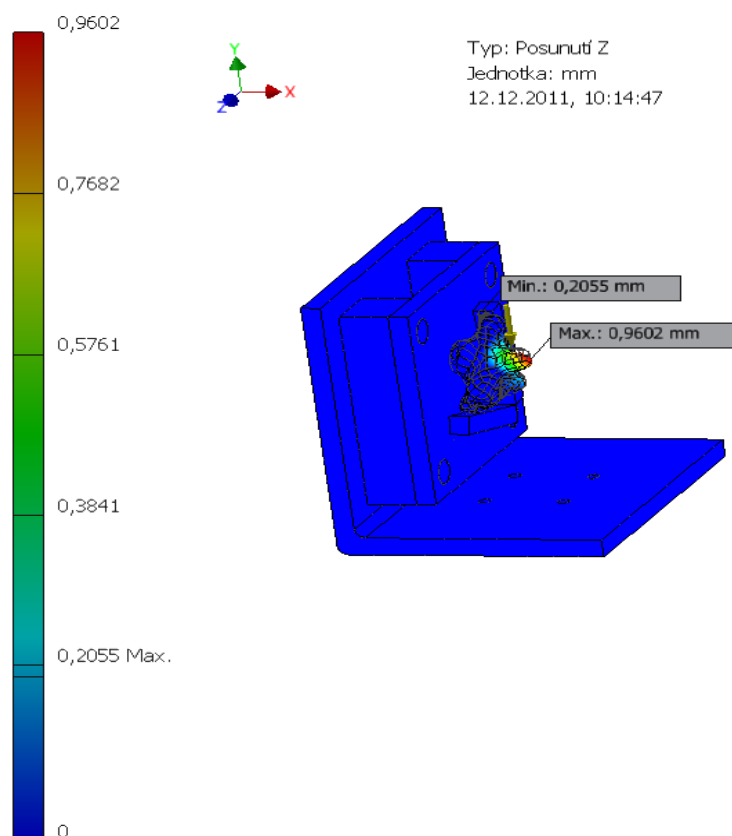
Příloha A.7 – Celkové posunutí 2. krčného obrátle [mm]



Příloha A.8 – Posunutí krčního obratle ve směru x [mm]



Příloha A.9 – Posunutí krčního obratle ve směru z [mm]



Příloha B.1 - Technical documentation TIRAtest 2810

TIRA GmbH • Eisfelder Str. 23/25 • D – 96528 Schalkau

3.2. Technical data

Test load, max.	10 kN
Load frame	2-spindle on table
Width of test area	450 mm
Height of test area	1080 mm
Max. crosshead stroke	960 mm
Stiffness	$5,5 \cdot 10^{-5}$ mm/N
Force measurement	by means of exchangeable strain gauge load cells
Force measuring range	from 1 % to 100 % of the nominal load of the applied load cell
Accuracy limit	class 1 as per EN ISO 7500/1 and ASTM E4 between 1 % and 100 % of the nominal load of the load cell
Measuring cycle	< 20 ms
Crosshead displacement measurement	incremental; resolution 0,001 mm
Test speed range	0.01 ... 500 mm/min
Errors in test speed range	< ± 1 % of the respective value
Electric connection	1~ 230 V / 50 Hz
Connected load	400 VA
Dimensions:	height x width x depth
Loading device	1410 x 1000 x 500 mm
Weight:	
Loading device	200 kg

Příloha C – Výkresová dokumentace přípravku